

⑨ 日本国特許庁 (JP) ⑩ 特許出願公開  
 ⑪ 公開特許公報 (A) 昭57-131874

⑫ Int. Cl.<sup>3</sup>  
 F 03 D 7/04

識別記号 庁内整理番号  
 7719-3H

⑬ 公開 昭和57年(1982)8月14日  
 発明の数 2  
 審査請求 未請求

(全 6 頁)

⑭ 風力タービン発電機用ブレードピッチ角制御装置

⑮ 特 願 昭56-216187  
 ⑯ 出 願 昭56(1981)12月24日  
 優先権主張 ⑰ 1980年12月24日 ⑯ 米国(US)  
 ⑱ 219611  
 ⑲ 発明者 ジョン・ピー・パトリック  
 アメリカ合衆国コネチカット州  
 サウス・ワインザー・マウンテン・ドライブ68  
 ⑳ 発明者 ジョセフ・エム・コス  
 アメリカ合衆国マサチューセツ

ツ州ホリーヨーク・リン・アン  
 ドライブ5

㉑ 発明者 カーミット・アイ・ハーナー  
 アメリカ合衆国コネチカット州  
 ウィンザー・ダイアナ・レーン  
 7

㉒ 出 願人 ユナイテッド・テクノロジーズ  
 ・コーポレイション  
 アメリカ合衆国コネチカット州  
 ハートフォード・フィナンシャル・プラザ1

㉓ 代 理 人 弁理士 明石昌毅

明細書

1. 発明の名称

風力タービン発電機用ブレードピッチ角制御装置

2. 特許請求の範囲

(1) ギヤボックスを介して発電機を駆動する可変ピッチブレードロータを含む電力発生装置を有する風力タービン発電機のためのブレードピッチ角制御装置であって、現時点に於ける平均風速を示す風速信号を与える手段と、前記風速信号に応答して前記風力タービン発電機が前記風速信号により示される風速に於ける風に耐えるに必要なブレードピッチ角を示す動力基準信号を与える信号処理手段とを含むブレードピッチ角制御装置に於て、現時点に於ける瞬間的な風速が現時点に於ける平均風速を超える程度を示す乱流係数信号を与える手段を含み、前記信号処理手段は前記ロータが前記風速信号及び前記乱流係数信号により示される最大風速に応答して前記ギヤボックスを安全に駆動するに必要なブレードピッチ角を示すギヤ

ボックス動力処理容量信号を前記風速信号及び前記乱流係数信号の閾値として前記乱流係数信号に応答して発生するようになっており、前記信号処理手段は前記ロータが前記風速信号及び前記乱流係数信号により示される前記風速を安全に受入れるに必要なブレードピッチ角を示すブレード動力処理容量信号を前記風速信号の閾値として前記風速信号に応答して発生するようになっており、前記信号処理手段は前記ブレード動力処理容量信号及び前記ギヤボックス動力処理容量信号のうちの選択された何れか一方の信号の閾値として所望のブレードピッチ角を示す前記動力基準信号を発生し、これにより前記ロータ及び前記ギヤボックスが安全に作動し得るよう可能な最大ブレードピッチ角を示す動力基準信号を発生するようになっていることを特徴とするブレードピッチ角制御装置。  
 (2) ギヤボックスを介して発電機を駆動する可変ピッチブレードロータを含む電力発生装置を有する風力タービン発電機のためのブレードピッチ角制御装置であって、現時点に於ける平均風速を

示す風速信号を与える手段と、前記風速信号に応答して前記風力タービン発電機が前記風速信号により示される風速に於ける風に耐えるに必要なブレードピッチ角を示す動力基準信号を与える信号処理手段とを含むブレードピッチ角制御装置に於て、

現時点に於ける瞬間的な風速が現時点に於ける平均風速を超える程度を示す乱流係数信号を与える手段と、

前記発電機の動力処理容量に影響する可変パラメータの現時点に於ける大きさを示す条件信号を与える発電機条件手段と、

を含み、前記信号処理手段は前記ロータが前記風速信号及び前記乱流係数信号により示される最大風速に応答して前記ギヤボックスを安全に駆動するに必要なブレードピッチ角を示すギヤボックス動力処理容量信号を前記風速信号及び前記乱流係数信号の関数として前記乱流係数信号に応答して発生するようになっており、前記信号処理手段は前記ロータが前記風速信号及び前記乱流係数信号

— 3 —

ギヤボックスを介して同期発電機を駆動するロータ上に複数個の大きな可変ピッチエアロフォイルブレードを装着された風力タービン発電機のためのブレードピッチ角制御装置に係る。

現今の大型水平軸風力タービン発電機は一般にギヤボックスを介して同期発電機を駆動するロータ上に装着された複数個の可変ピッチブレードを含んでいる。ギヤボックスは主タービン軸の回転速度を発電機の同期速度に必要とされる回転速度にまで增速する。

ブレード、ギヤボックス、発電機は極く限られた量のトルク又は動力入力しか処理し得ない。従って例えば米国特許第4,193,005号に記載されている如き大型の風力タービン発電機の制御装置に於てタービンブレード、ブレードマウント、ギヤボックス、発電機及び他の構成要素を保護するためには、ブレードにより捉えられる風エネルギー即ち動力及び主タービン軸に与えられるトルクは、タービンエアロフォイルブレードのピッチ角を調整することにより安全な量に制限され

— 5 —

により示される前記風速を安全に受入れるに必要なブレードピッチ角を示すブレード動力処理容量信号を前記風速信号の関数として前記風速信号に応答して発生するようになっており、前記信号処理手段は前記ロータが前記発電機を安全に駆動するに必要なブレードピッチ角を示す発電機動力処理容量信号を前記条件信号に応答して発生するようになっており、前記信号処理手段は前記ブレード動力処理容量信号、前記ギヤボックス動力処理容量信号及び前記発電機動力処理容量信号のうちの選択された何れかの信号の関数として所要のブレードピッチ角を示す前記動力基準信号を発生し、これにより前記ロータ、前記ギヤボックス及び前記発電機が安全に作動し得るよう可能な最大ブレードピッチ角を示す動力基準信号を発生するようになっていることを特徴とするブレードピッチ角制御装置。

### 3. 発明の詳細な説明

本発明は、水平軸風力タービン発電機のためのブレードピッチ角制御装置に係り、更に詳細には

— 4 —

なければならない。かくして風力タービン発電機内に於ける動力及びトルクの伝達を制限するためには、そのブレードピッチ角制御装置は上述の如き風力タービン発電機の各構成要素の最大動力処理容量又は最大トルク処理容量を示す信号を供給されるか又はかかる信号を自ら発生し得るようになっていなければならない。上述の米国特許第4,193,005号に於ては、かかる所要のトルク信号又は基準トルク信号として知られている信号が、公称トルクの数倍が風速の関数として記憶されているトルク発生器即ち関数発生器(144)より供給されるようになっており、これによりスケジュールへ風速が入力されると該スケジュールより対応する基準トルク出力信号が出力されるようになっている。

関数発生器144に記憶されるトルク基準信号の値は従来より一般に、タービンブレード、発電機、ギヤボックスの公称定格を基準に決定されており、かかる公称定格の決定は最大動力又はトルク伝達とはほぼ反対の電気的負荷条件及び過渡的

— 6 —

条件下に於けるこれら構成要素の作動に基いて行なわれている。従って実際の作動条件がブレード、ギヤボックス、発電機による最大動力又はトルク伝達に好ましい場合、従って最大発電機電気出力に好ましい場合であっても、関数発生器144は基準動力又はトルク信号、従って発電機出力を比較的低い運転条件下に於て安全である値に制限する。

風力タービン発電機については、ブレードの応力はブレードのピッチが風のエネルギーを最大限に捕捉するよう設定された定格風速（定格電力が発生される場合に於ける最も低い風速）に於て最も高いことが知られている。定格風速以上に於ては、ブレードのピッチはブレードに作用するスラスト力が低減され実質的な量の風がブレードよりも流れれるようなピッチに調整される。かかるピッチ調整にはブレードの応力を定格風速の場合に於ける応力よりも低い値に低下させる効果がある。

同期発電機の最大許容電気出力は負荷力率及び発電機を冷却する容量の如き因子に依存し、発電

— 7 —

に遭遇する突風が予想される突風よりも大きさ、周波数及び維持時間が小さい場合には、ギヤボックスは公称トルク入力よりも大きなトルク入力にて定常状態にて運転されてよく、従って公称発電機電力出力よりも大きな出力を発生し得るものである。

以上の説明より、ある特定の条件下、即ち周囲温度が低く力率が高く風乱流係数が低い条件下に於ては、平均風速が定格速度以上である場合には、風力タービン発電機は従来技術による基準信号スケジュールにより示されるタービンブレード、ギヤボックス又は発電機の公称動力定格又はトルク定格よりも高い定格にて安全に運転され得ることが理解されよう。かかる定格動力又はトルクレベルよりも高い定格にて風力タービン発電機を運転すればその電力出力が増大し、これにより風力タービン発電機により発生される電気エネルギーの単位コストが低下する。

本発明の目的は、風力タービン発電機の実際の運転条件に基いて風力タービン発電機制御系のた

めを冷却する容量は周囲温度及び空気密度（高度）に依存する。発電機の出力は発電機に対する負荷及びトルク入力の関数である。発電機の最大許容電気出力は負荷力率の増大及び冷却容量の増大に伴って増大する。従って高負荷力率及び／又は低周囲温度のある与えられた発電機現場（高度）に於ては、発電機はロータに対する公称トルク入力よりも高いトルク入力にて、従って負荷に対する電力出力の公称値よりも高い値にて運転され得る。

一般に、風力タービン発電機に採用されるギヤボックスも公称トルク入力又は動力処理容量について定格化されている。ギヤボックスに対するトルク入力は定常条件及び突風条件の両方に於ける風力タービンロータのトルク出力により決定される。ギヤボックスを有する定常トルク入力について定格化することが一般に行なわれており、ギヤボックスは突風より他の状態へ変化する場合に於けるより大きな過渡的トルクに耐えるよう設計されている。かかる過渡的トルクは一般に定格トルクの140%前後であるものと考えられている。実

— 8 —

めの最適動力又はトルク基準信号を発生させることである。

本発明によれば、風、温度、力率の運転条件下に於ける発電機、ブレード、ギヤボックスの最大動力又はトルク処理容量を示す信号、及び所要の発電機出力電力を示す指令信号が互いに比較され、大きさの小さい方の動力又はトルク信号が基準動力又はトルク信号として選定される。この基準信号はその後ブレードピッチ制御系へ入力され、風力タービン発電機の出力が基準信号に一致するピッチ角が設定される。本発明の一つの実施例に於ては、発電機、ブレード、ギヤボックスの最大動力処理容量信号が、その信号を平滑化しその精度を高める積分比較手段を含む遅延比較回路へ入力される。遅延比較回路は、制御系の基準出力信号がその遅延比較回路の動力処理容量信号以外の動力処理容量信号により制限される場合には、積分比較手段の出力と制御系の基準出力信号との誤差を積分比較手段の過剰動作を阻止する様にまで制限する手段を含んでいる。

— 10 —

以下に添付の図を参照しつつ、本発明を実施例について詳細に説明する。

本発明による制御装置 10 は、タービン発電機の運転条件の関数としてタービン発電機のギヤボックス、ブレード、及び発電機の動力処理容量を示す信号を発生するデジタルデータルックアップメモリー又はアナログ関数発生器 15、20、25 の如き手段を含んでいる。本明細書に於ては本発明による制御装置を上述の如きメモリーに申し説明するが、本発明の範囲内に於て対応するトルク関数メモリーが採用されてよく、トルクの数値は容易に動力に変換可能であり、また逆の変換も可能である。従って本明細書に於て、動力信号についての言及は動力信号又はトルク信号の何れかについての言及として理解されたい。

発電機メモリー 15 はある与えられた高度に於ける負荷力率 (P, F) 入力信号及び周囲温度 (T<sub>AMB</sub>) 入力信号の両方の関数として発電機の動力処理容量を記憶する。上述の如く、発電機の動力処理容量は力率が増大し周囲温度が低下すれば

- 11 -

へ入力される。上述の如く、ブレードの応力は、風がブレードより吹れるようにされこれによりブレードに要するスラスト力が低減された場合に低下する。従って定格速度よりも風速が高い場合には、ブレードの応力は定格速度に於ける応力よりも低く、従ってブレードは過剰の内部応力を発生することなく多量の風力を捉えることができる。メモリー 25 により示されている如く、乱流が低下すればギヤボックスの定常状態に於ける動力処理容量 (トルク処理容量) が増大する。従って好ましい風、温度、及び力率条件下に於ては、メモリー 15、20、25 はブレード、ギヤボックス、又は発電機の何れの公称定格よりも実質的に大きい動力処理容量を示す動力信号を発生する。

メモリー 15、20、25 からの出力信号はそれぞれ導線 55、60、65 へ供給される。風力タービンが徐々にスピードアップされなければならない風力タービン発電機の始動時の如き場合には、最大値よりも小さな値の基準信号が必要とされる。かかる制御を達成するため、指令動力信号

- 13 -

特開昭57-131874 (4)

するほど増大する。力率信号及び周囲温度信号は熱電対 27 及び力率計 28 の如き適当なトランジスタにより与えられ、それぞれ導線 30 及び 35 を経てメモリー 15 へ入力される。ブレードメモリー 20 は風力計の如きトランジスタ 37 より入力される平均風速信号の関数としてブレードの動力処理容量 (許容し得るブレード応力により制限される) を示す信号を発生し、その信号を導線 40 を経てブレードメモリー 20 へ入力する。ギヤボックス関数発生器又はメモリー 25 は平均風速 (V<sub>w</sub>) 入力信号及び風乱流係数 (T, F) 入力信号の関数としてギヤボックスの動力処理容量を示す出力信号を発生する。風速信号は導線 40 を経てブレードメモリー 20 へ入力され、また導線 45 を経てギヤボックスメモリー 25 へ入力される。風の乱流 (突風) の大きさを示す乱流係数信号は、風速を操作し測定し且測定された突風の風速及び計算された平均風速に基き乱流係数を計算する適当な装置 47 により与えられる。この信号は導線 50 を経てギヤボックスメモリー 25

- 12 -

(P<sub>COM</sub>) が導線 70 を経て本発明の制御系へ入力される。

説明の目的で、本発明の制御装置には破線 75 にて囲まれた回路が含まれていないものと仮定すれば、メモリー 15、20、25 からの出力信号及び指令動力信号は、これら四つの信号の最小値を選択しその最小値信号を出力基準信号 (P<sub>REF</sub>) として導線 85 に出力する最小値選択回路 80 へそのまま供給される。上述の如く、この基準信号は風力タービンのブレードが上述の基準信号に対応する出力電力を発生するよう設定されるブレードピッチ角を示している。この最小値選択回路は上述の四つの信号のうちの一つの信号の値を他の信号の値と比較する第一の組の比較器、及び第一の組の比較器の出力を比較する第二の組の比較器の如き適当な構成要素又は回路を含んでおり、第二の組の比較器は該比較器により作動されるゲートと共にして最小値の信号を最小値選択回路の出力として通過させるようになっている。

作動に於ては、風力タービン発電機の出力を最

- 14 -

特開昭57-131874(5)

大にする必要がある場合には、指令信号はメモリー 15、20、25より供給される最大許容動力信号又はトルク信号よりも大きな値である。平均風速が比較的高く、負荷力率が高く、風の乱流係数が比較的低い場合には、タービンのブレード及び発電機はこれら構成要素の最小定格よりも実質的に高い動力入力を受け得るようになる。同様に、乱流係数が低い場合には、公称力率よりも高い力率の入力をギヤボックスへ入力することができる。かくして風力タービン発電機はブレード、ギヤボックス、発電機への入力が公称力率よりも高い力率の入力にて安全に運転可能であり、従って定格出力電力よりも高い出力にて運転可能である。発電機又はブレードへの力率入力又はトルク入力の限界に到達する前にギヤボックスへの入力の限界値に到達するような風の条件下にある場合には、ギヤボックスメモリー 25からの出力信号は他のメモリーからの出力信号及び指令信号よりも小さい。従って最小値選択回路 80 はギヤボックスの出力信号を選定し、その信号を出力基準信号

- 15 -

与えるようになっている。加算点 90 の出力は第一の誤差信号の値を制限するリミッタ 105 へ入力される。リミッタ上のグラフに示されている如く、ある予め定められた誤差（好ましい実施例に於ては定格風力タービン発電機出力電力の 5% の如き一定のパーセンテージ）以下であるデッドバンドに於ては、リミッタの出力は 0 である。デッドバンド以上に於ては、リミッタの出力はリミッタの利得により決定される第一の誤差信号の値の一部である。リミッタ 105 の出力はリミッタ 105 の出力と出力基準信号（導線 85）との合計と関連するメモリー（この場合メモリー 15）の出力との間の偏差を計算する第二の加算点 110 へ入力される。第二の加算点 110 からの出力信号は積分器 115 へ入力され、積分器 115 はメモリー 15 からの出力信号の精度を向上させその信号を平滑化すべく積分補機を行なう。

連延比較回路 75 の動作は以下の如くである。出力基準信号（導線 85）がメモリー 15 以外のメモリーにより発生された信号によって決定され

- 17 -

る（ $P_{REF}$ ）として出力する。この基準信号は風力タービン発電機の制御系（図示せず）のうち、その基準信号により要求される出力電力に実質的に等しい実際の風力タービン発電機出力電力に対応する位置にブレードのピッチ角を設定する部分へ入力される。かくして好ましい風、温度、及び力率条件下に於ては、本発明による制御装置は、要求されれば、ブレード、ギヤボックス、発電機の公称定格の何れよりも実質的に大きい動力基準信号を設定することができ、これにより風力タービン発電機により発生される電気エネルギーを最大にする。

メモリー 15 の出力は積分又は連延比較回路 75 へ入力されてよい。同様に同様の連延比較回路がメモリー 20 及び 25 の出力側に接続されてよい。連延比較回路 75 は最小値選択回路 80 の出力基準信号（導線 85）と連延比較回路の出力（導線 95）との偏差を計算する第一の加算点又は偏差回路 90 を含んでおり、その出力として導線 100 に上記偏差に比例した第一の誤差信号を

- 16 -

る場合には、加算点 90 が積分器 115 の出力と出力基準信号（導線 85）との偏差に比例した誤差信号を発生する。リミッタ 105 がない場合には、出力基準信号（導線 85）と積分器 115 の出力との偏差が、特にそれが第二の加算点 110 へ入力される場合には、メモリー 15 からの出力及び出力基準信号（導線 85）と共に積分器 115 をトリガし、これによりその積分器に不要な積分を継続的に行なわせる大きな第二の誤差信号を発生し、このことにより誤差信号の大きさが更に一層継続的に増大する。リミッタ 105 は積分器の出力と出力基準信号（導線 85）との間の偏差を上述の如き要領にて制御し、メモリー 15 の出力と出力基準信号（導線 85）との偏差をオフセットする。このことにより加算点 110 の出力が 0 又は積分器 115 の動作従ってその出力を適正に制限する値にまで低減される。

上述の如く、連延比較回路は発電機の動力処理容量開散発生器（メモリー） 15 との関連で図示されているが、同様の連延比較回路が同様の要領

- 18 -

特開昭57-131874(6)

にてブレードのメモリー 20 及びギヤボックスのメモリー 25 にも採用されてよい。

本発明の制御装置にはアナログ装置、デジタル装置、又はアナログからデジタルへ又はその逆に信号を変換するアナログ-デジタル装置が組込まれてよい。更に、以上の説明に於ては、閾値発生器即ちメモリー 15、20、25 の出力は、湿度、力率、乱流係数、風速の閾値であるものとして説明したが、これらのメモリーの出力は湿度、力率、乱流係数、風速を計算するための他のパラメータの閾値として決定されてもよい。

以上に於ては本発明を特定の実施例について詳細に説明したが、本発明はかかる実施例に限定されるものではなく、本発明の範囲内にて種々の実施例が可能であることは当業者にとって明らかであろう。

#### 4. 図面の簡単な説明

添付の図は本発明による風力タービン発電機のブレードピッチ角制御装置の一つの好ましい実施例を示すブロック線図である。

- 19 -

- 20 -

